



ЛЮБИТЕЛЬСКИЙ ЭЛЕКТРОПРОИГРЫВАТЕЛЬ

Ю. ЩЕРБАК

Мы начинаем публикацию описания еще одного электропроигрывателя с тангенциальным тонармом, разработанного известным московским радиолюбителем, неоднократным призером радиолюбительских выставок Ю. Щербаком. За этот проигрыватель он был награжден вторым призом 29-й выставки творчества радиолюбителей-конструкторов ДОСААФ. И хотя автор с присущей ему скромностью считает, что описываемый аппарат всего лишь модернизированный вариант его ранее опубликованной конструкции (см. «Радио», 1977, № 11, 12 и 1978, № 1, 2), на наш взгляд, это во многом принципиально новая разработка, изящество технических решений которой могут сделать честь профессиональным разработчикам. Простота конструкции, минимум точных механических работ, удачное сочетание механических и электронных устройств, широкое применение современной элементной базы — все это делает новую разработку Ю. Щербака вполне современным аппаратом, который мог бы, по мнению редакции, стать основой для создания недорогого отечественного проигрывателя высокого класса.

В публикуемой статье рассказывается об устройстве проигрывателя в целом, описываются принцип действия его узлов и их взаимодействие в разных режимах работы. О схемно-конструктивных решениях отдельных узлов будет рассказано в следующих номерах журнала.

Предлагаемый вниманию читателем проигрыватель представляет собой модернизированный вариант устройства, описанного в «Радио», 1977, № 11, 12 и 1978, № 1, 2. Основное отличие его заключается в том, что для привода диска, каретки тангенциального тонарма и перемещения его в вертикальной плоскости (микролифт) применены не электродвигатели постоянного тока, а электромагниты. Это позволило упростить механические узлы проигрывателя, повысить надежность его работы и значительно улучшить некоторые технические характеристики. Изменился внешний вид проигрывателя (см. 2 и 3-ю с. вкладки): его панель несколько наклонена, а каретка теперь расположена не за пластинкой, а над ней. Габариты описываемого аппарата составляют 345 × 318 × 48 мм (у предыдущего проигрывателя — 410 × 362 × 66 мм), масса — 3 кг (вместо 4,5 кг).

Сенсорный переключатель рода работы заменен кнопочным, срабатывающим при незначительном усилии нажатия на кнопки. Введена кнопка повторного проигрывания грампластинки. В нажатом положении этой кнопки тонарм после проигрывания пластинки автоматически возвращается в исходное положение и опускается на вводную канавку. Автостоп срабатывает по ускорению движения каретки тонарма при выходе иглы на выводную канавку пластинки.

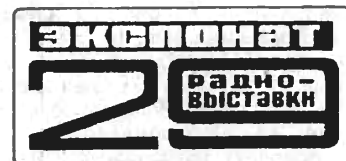
Основные технические характеристики проигрывателя

Номинальная частота вращения диска, мин ⁻¹	33 1/3
Время установления номинальной частоты вращения, с	4
Вращающий момент, сообщаемый диску в режиме разгона, Г · см	75
Неравномерности частоты вращения диска, %	0,1
Изменение частоты вращения при следовании иглы от канавки максимального диаметра к канавкам минимального диаметра, %	0,2
Уровень вибраций, создаваемых электромагнитами привода диска, дБ	-57
Горизонтальный угол погрешности тонарма, не более	±3'

Вращение диска осуществляется тремя Ш-образными электромагнитами 1 (см. вид Д на вкладке), расположенными против выступов стального обода диска 22. По отношению друг к другу электромагниты смещены на одну треть шага выступов диска и управляются сигналами, снимаемыми с емкостных датчиков 2 частоты вращения диска. Эти датчики расположены так, что напряжение на обмотке каждого из электромагнитов максимально, когда выступы диска приближаются к их полюсам, и минимально, когда они удаляются. Зависимость напряжений на обмотках электромагнитов от углового положения диска показана на рис. 1 в тексте. Благодаря тому, что все они изменяются плавно и сдвинуты по фазе на 120°, электромагниты сообщают диску практически непрерывный вращающий момент. Величиной этого момента управляет электронное устройство, в котором сравниваются напряжение, пропорциональное частоте вращения диска, и стабилизированное образцовое напряжение.

Для снижения мощности, подводимой к электромагнитам, и уменьшения создаваемых ими вибраций масса диска выбрана небольшой (всего около 470 г), а его вал установлен на двух миниатюрных шариковых подшипниках. В результате механические потери при вращении диска уменьшились настолько, что тормозящий момент стал создаваться в основном трением иглы звукоснимателя о пластинку: мощность подводимых к каждому электромагниту сигналов оказалась равной всего 3 мВт при поднятом тонарме и 16 мВт в процессе проигрывания.

Подвижная каретка 9 тангенциально-



го тонарма представляет собой пластину из фольгированного стеклотекстолита. Перемещается она по стальным направляющим, одна из которых (15) выполнена в виде плоской линейки, а другая (11) имеет профиль уголка. Необходимое для надежного следования усилие прижима к направляющим создается миниатюрными постоянными магнитами 4. Уменьшение трения между кареткой и направляющими достигнуто фторопластовыми прокладками 10.

На каретке установлены два электромагнита, образующие так называемый шаговый электродвигатель. Один из них — электромагнит-фиксатор 5 — свободно размещен в окне каретки и может притягиваться к направляющей 15 при подаче на него постоянного напряжения. Второй электромагнит (7) предназначен для перемещения каретки относительно электромагнита-фиксатора. Перемещение создается маятником 6 с закрепленным на его конце постоянным магнитом 8 (см. вид Г на вкладке) через редуктор, изготовленный на основе миниатюрного шарикового подшипника 3. Назначение редуктора — преобразовать сравнительно большое (несколько миллиметров) перемещение постоянного магнита маятника в очень малое (десятки микрометров) перемещение каретки относительно электромагнита-фиксатора (иначе говоря, относительно направляющих). Эта трансформация перемещений происходит благодаря тому, что внутреннее кольцо подшипника 3 жестко связано с маятником 6 и закреплено на каретке эксцентрично относительно его оси вращения, а наружное соединено с тягой электромагнита-фиксатора 5. При подаче напряжения на обмотку этого электромагнита поворот маятника под действием магнитного поля катушки электромагнита 7 приводит к перемещению каретки по стальным направляющим 11 и 15, при отсутствии напряжения — к перемещению фиксатора относительно неподвижной каретки. Иначе говоря, каретка перемещается небольшими шагами. Направление движения зависит от сдвига фаз напряжений, поступающих на обмотки электромагнитов.

Работой шагового двигателя каретки управляет электронное устройство, с которого на электромагнит 7 подается напряжение треугольной формы (рис. 2, а в тексте), а на электромагнит 5 — прямоугольной (рис. 2, б). Нетрудно видеть, что электромагнит-фиксатор включается (притягивается к направляющей) в тот момент, когда напряжение на обмотке электромагнита 7 максимально, и маятник находится на максимальном удалении от него. Следующее за этим уменьшение (а затем и изменение полярности) напряжения на электромагните 7 приводит к повороту маятника, а следовательно, и к перемещению каретки по направ-

ляющим. Движение каретки продолжается до тех пор, пока напряжение на обмотке электромагнита 7 не достигнет максимума положительной полярности. В этот момент электромагнит 5 выключается, а начавшееся уменьшение напряжения на электромагните 7 приводит к движению маятника в обратном

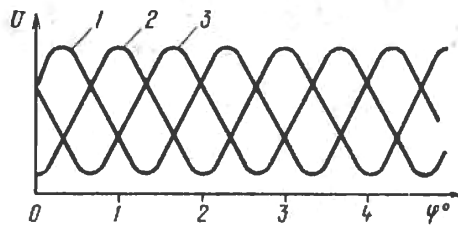


Рис. 1

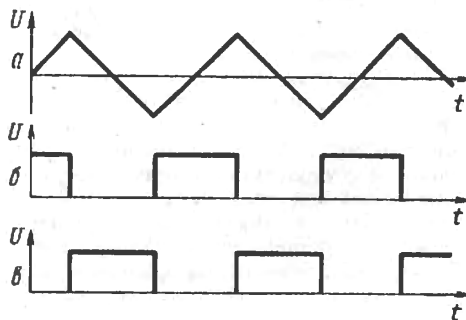


Рис. 2

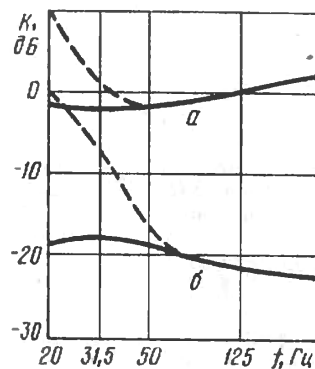


Рис. 3

направлении. Возвращаясь в исходное положение, он через редуктор перемещает электромагнит-фиксатор, но из-за отсутствия напряжения на его обмотке каретка при этом остается неподвижной. Далее весь цикл работы шагового двигателя повторяется сначала.

При изменении фазы напряжения на электромагните-фиксаторе (рис. 2, в) картина меняется на обратную: к направляющей он притягивается в тот момент, когда маятник занимает другое (по сравнению с указанным выше) крайнее положение, поэтому его пово-

рот приводит к перемещению каретки в противоположном направлении.

Особенность описываемого шагового двигателя — его способность сообщать каретке как достаточно большую (до 5 мм/с) скорость перемещения (при движении тонарма к пластинке из исходного положения, при возврате в него после срабатывания автостопа и т. д.), так и очень малую, определяемую шагом рабочей канавки грампластинки (в режиме слежения за отклонением тонарма от заданного положения по отношению к радиусу пластинки). Скорость движения каретки пропорциональна частоте сигналов, подаваемых на электромагниты двигателя, и амплитуде колебаний маятника. Для получения наибольшей скорости при ускоренном движении частота сигналов должна быть близкой к резонансной частоте колебаний маятника (зависит от действующей массы маятника и жесткости спиральной пружины 24, фиксирующей его в исходном — среднем — положении). В данном случае она составляет примерно 15 Гц, а амплитуда колебаний маятника достигает 15 мм.

В режиме проигрывания грампластинки частота следования сигналов уменьшается до 0,5...1 Гц, а амплитуда колебаний — до 5 мм. Положение каретки корректируется не менее одного раза за один оборот пластинки. Так как единичные перемещения каретки в режиме проигрывания очень малы (50...100 мкм), происходят плавно и к тому же следуют с очень низкой (0,5...1 Гц) частотой, помехи воспроизведению вт привода каретки практически отсутствуют.

Для подъема и опускания тонарма, а также для создания необходимой прижимной силы применен еще один электромагнит, катушка 25 которого установлена на каретке точно под постоянным магнитом 13, закрепленным в противовесе тонарма 12. Подъем тонарма создается притяжением постоянного магнита 13 полем катушки 25, опускание и прижимная сила — их взаимным отталкиванием.

На каретке 9 тонарма закреплен с помощью карданного подвеса 16, изготовленного из резины методом прессования. Подвес (см. вид А на вкладке) состоит из двух концентрических колец, соединенных между собой вертикальными связками. Трубка тонарма 17 плотно вставлена во внутреннее кольцо подвеса. Для крепления на каретке служат два ушка, соединенные с внешним кольцом горизонтальными связками. Винты крепления ввинчены в четырехгранные гайки, припаянные к фольге каретки. Отклонение тонарма с таким подвесом от положения перпендикулярного радиусу пластинки, естественно, ведет к скручиванию вертикальных связок и появлению момента вращения, создающего боковое усилие на

иглу звукоснимателя. Однако благодаря высокой точности отслеживания угла отклонения тонарма (3'), это усилие не превышает 0,01 мН (1 мГ) и на качестве воспроизведения не сказывается.

Резиновый карданный подвес эффективно препятствует прониканию помех от привода каретки к звукоснимателю и хорошо демпфирует собственные механические резонансы трубки тонарма. Низкочастотный резонанс, зависящий от действующей массы тонарма и гибкости подвижной системы звукоснимателя, демпфируется двумя каплями эпоксидной смолы 26 (можно исполь-

тому, что капли демпфирующей жидкости тормозят тонарм даже при малых скоростях перемещения, опускание звукоснимателя на пластинку происходит очень плавно).

Головка звукоснимателя, как и в предыдущей конструкции самодельная емкостная (см. вид В на вкладке). Для удобства в эксплуатации она выполнена съемной и соединяется с тонармом миниатюрным штепсельным разъемом. Высокочастотный генератор, обеспечивающий работу звукоснимателя и емкостного датчика положения тонарма, установлен на каретке, причем его выходное напряжение снижено до 50 В.

расстыковки частей разъема каретка легко снимается, что очень удобно при регулировке и ремонте.

Структурная схема электронной части проигрывателя показана на рис. 4 в тексте. Все режимы работы устройства определяются состояниями триггеров D6 и D9. Управляются они кнопками S1 (перемещение тонарма вправо), S2 (опускание), S3 — перемещение влево), переключателем S4 (повторение проигрывания), концевыми выключателями S5 (формат пластинки), S6 (крайнее правое — исходное — положение тонарма) и выходным напряжением компаратора A1 (динамический

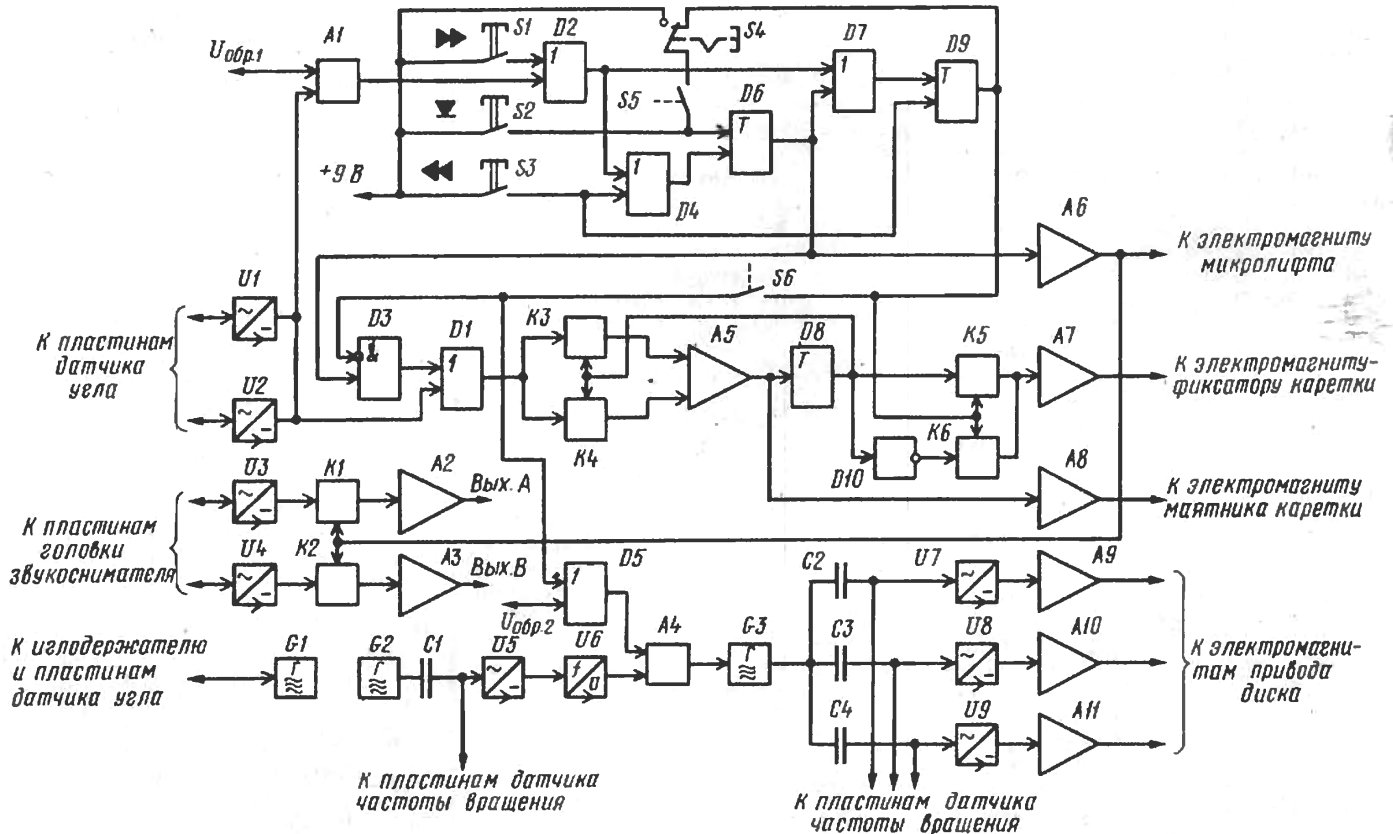


Рис. 4

зывать и кремнийорганическую смазку ПМС-5000), введенными в зазор между противовесом 12 и небольшими пластинами 14 (см. вид В на вкладке), закрепленными на каретке. В зазоре капли демпфирующей жидкости удерживаются силами поверхностного натяжения. Применение такого демпфера позволило выровнять АЧХ звукоснимателя в области низших частот и улучшить переходное затухание между стереоканалами (на рис. 3 АЧХ рабочего канала а и проникания в нерабочий канал б при отсутствии демпфирования низкочастотного резонанса изображены штриховыми линиями, а с демпфированием — сплошными). Благодаря

уменьшению длины тонарма (за счет расположения каретки над пластиной) и отсутствие кабеля, соединяющего генератор со звукоснимателем, позволили уменьшить емкость выходного контура генератора в несколько раз. Вместе со снижением выходного напряжения это привело к значительному уменьшению потребляемой генератором мощности. Отсутствие высокочастотного кабеля позволило сделать жгут проводов, идущих от каретки, значительно более гибким и соединить его с остальными устройствами проигрывателя миниатюрным разъемом. После

автостоп), срабатывающего при увеличении выходного напряжения датчика положения тонарма (преобразователи U1 и U2) сверх некоторого образцового уровня Uобр.1.

При нажатии на кнопку S3 напряжения на выходах триггеров D6 и D9 становятся положительными. В результате напряжение такой же полярности появляется и на выходе усилителя постоянного тока A6. Оно поступает на обмотку электромагнита микролифта (в результате тонарм поднимается) и на электронные ключи K1, K2, которые отключают усилители стереоканалов A2 и A3 от выходов звукоснимателя (детекторы U3 и U4). Напряжение с

выхода триггера *D6* через логические элементы *D3* и *D1* поступает и на вход генератора сигналов управления движением каретки, состоящего из инвертора *A5*, триггера *D8* и электронных ключей *K3*, *K4*. Входное напряжение генератора в этом режиме работы таково, что частота вырабатываемых им сигналов близка к резонансной частоте маятника каретки. Напряжение треугольной формы на его электромагнит поступает с выхода инвертора *A5* через усилитель постоянного тока *A8*. Напряжение прямоугольной формы снимается с выхода триггера *D8* и подается на обмотку электромагнитфиксатора через инвертор *D10*, электронный ключ *K6* и усилитель постоянного тока *A7*. В результате каретка с тонармом движется влево (к пластинке).

В начале движения размыкаются контакты концевого выключателя *S6*, и компаратор *A4* под действием образцового напряжения $U_{обр.2}$ переходит в режим ограничения при отрицательном напряжении на выходе. В результате включается генератор *G3*. Высокочастотное напряжение через делители, состоящие из конденсаторов *C2—C4* и емкости пластин датчиков частоты вращения диска, поступает на входы амплитудных детекторов *U7—U9*. Постоянная составляющая выпрямленного напряжения усиливается усилителями *A9—A11*, подается в обмотки электромагнитов, и диск начинает вращаться.

Система стабилизации частоты вращения диска работает следующим образом. Высокочастотное напряжение с выхода генератора *G2* через делитель напряжения, состоящий из конденсатора *C1* и емкости пластин датчика частоты вращения диска, преобразуется в однополярные импульсы, следующие с частотой прохождения выступов диска. Амплитуда этих импульсов постоянна и не зависит от частоты вращения. В частотном дискриминаторе *U6* они преобразуются в постоянное напряжение, пропорциональное частоте вращения диска, которое затем сравнивается с образцовым напряжением $U_{обр.2}$ в компараторе *A4*, вырабатывающем сигнал управления генератором *G3*.

При замыкании контактов концевого выключателя *S5* (независимо от положения переключателя *S4*) или нажатии на кнопку *S2* триггер *D6* переходит в другое устойчивое состояние, и его выходное напряжение становится отрицательным (напряжение на выходе триггера *D9* по-прежнему положительное). Теперь на входы электронных ключей *K3* и *K4* поступает только сигнал датчика положения тонарма, а он при отсутствии отклонения тонарма от заданного положения очень мал, поэтому каретка останавливается. Одновременно напряжение на выходе усилителя *A6* меняет знак, но номинального значения достигает не сразу, а спустя некоторое

время, когда зарядится конденсатор в цепи обратной связи, охватывающей усилитель. Благодаря этому звукосниматель плавно опускается на входную канавку пластинки. Выходное напряжение усилителя *A6* открывает ключи *K1*, *K2*, и сигналы звуковой частоты с выходов детекторов *U3*, *U4* поступают на входы усилителей *A2* и *A3*. Высокочастотное напряжение, необходимое для работы звукоснимателя и датчика положения тонарма, вырабатывает генератор *G1*.

Прогривание продолжается до тех пор, пока в результате срабатывания устройства динамического автостопа *A1* или нажатия на кнопку *S1* на вход логического элемента *D2* не будет подано положительное напряжение. Сигнал с выхода этого элемента через логические элементы *D4*, *D7* поступает соответственно на триггеры *D6*, *D9* и переводит их в состояние, в которых выходное напряжение первого из них положительное, а второго — отрицательное. В результате напряжение на выходе усилителя *A6* вновь меняет знак, тонарм поднимается, электронные ключи *K1*, *K3* отключают звукосниматель, а на электромагниты шагового двигателя каретки подаются сигналы, соответствующие ее перемещению вправо (сигнал с триггера *D8* поступает на усилитель *A7* через ключ *K5*, т. е. минуя инвертор *D10*).

При прохождении звукоснимателя над вводной канавкой грампластинки контакты концевого выключателя *S5* снова замыкаются, но тонарм не опускается, так как триггер *D6* своего состояния не изменяет (в указанном на схеме положении переключателя *S4* на его вход подается отрицательное напряжение с выхода триггера *D9*). В другом же положении переключателя *S4* замыкание контактов выключателя *S5* приводит к изменению состояния триггера *D6*. В результате тонарм опускается, а шаговый двигатель переходит в режим слежения за углом отклонения тонарма.

Возвратясь в исходное (крайнее правое) положение, каретка замыкает контакты концевого выключателя *S6*, и на вход логического элемента *D3* подается напряжение отрицательной полярности с выхода триггера *D9*. В итоге напряжение на выходе элемента *D1* (а следовательно, и на входах ключей *K3*, *K4*) становится равным нулю, и каретка останавливается.

Выходное напряжение триггера *D9* поступает также (через элемент *D5*) на вход компаратора *A4*, переводя его в режим ограничения при положительном напряжении на выходе, и генератор *G3*, обеспечивающий работу привода диска, выключается. Каретка останавливается.

(Продолжение следует)

Важнейшими характеристиками высококачественных стереофонических усилителей являются, как известно, идентичность амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) и равенство коэффициентов усиления каналов. Так, например, согласно ГОСТу 11157—74 рассогласование АЧХ и коэффициентов усиления каналов стереоусилителя в электрофонах высшего и первого классов не должно превышать 2 дБ в любом положении регулятора громкости. Разбаланс же сопряжений, наиболее часто используемых для тонкомпенсированной регулировки громкости двоярных переменных резисторов СПЗ-23, СПЗ-12, СПЗ-4, достигает ± 3 дБ, а изменение их сопротивлений из-за люфта движка или оси — ± 6 дБ. Это приводит к разбалансу уровней сигналов в каналах стереоусилителя при регулировании громкости (он может достигать 4...6 дБ) и к рассогласованию АЧХ, особенно заметному на малой и средней громкости: при установке движков вблизи отводов для тонкомпенсации это рассогласование достигает 6...12 дБ. Увеличение глубины тонкомпенсации с целью приближения к кривым равной громкости приводит к еще большему рассогласованию АЧХ каналов. И если при настройке усилителя коэффициенты усиления каналов можно выравнять регулятором стереобаланса, то сбалансировать АЧХ с помощью обычных органов управления невозможно.

Другой недостаток тонкомпенсированных регуляторов громкости, выполненных на переменных композиционных резисторах, состоит в нарушении закона регулирования громкости на средних частотах из-за шунтирующего действия элементов тонкомпенсирующих цепей, что приводит к неравномерности увеличения громкости при регулировании.

От всех указанных недостатков свободен двоярный ступенчатый тонкомпенсированный регулятор громкости, принципиальная схема одного из каналов которого показана на рис. 1. Его можно использовать в любом стереофоническом усилителе вместо тонкомпенсированного регулятора на основе двоярного переменного резистора сопротивлением не менее 100 кОм. При парном подборе резисторов делителей и элементов тонкомпенсации с точностью $\pm 5\%$ рассогласование АЧХ и коэффициентов усиления каналов не